



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

SYSTÉM VZDÁLENÉHO MONITOROVÁNÍ TEPLoty

REMOTE TEMPERATURE MONITORING SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Gál

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Mikroelektronika**
Ústav mikroelektroniky

Student: Bc. Radek Gál

ID: 125141

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Systém vzdáleného monitorování teploty

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte zařízení pro vzdálené monitorování teploty uskladněných živočišných komodit. Hlavní jednotka bude vybavena nezbytnými indikačními prvky, nevolatilní pamětí pro ukládání naměřených dat a bude umožňovat vzdálenou kontrolu dat pomocí ethernetového rozhraní. Dále bude bezdrátově komunikovat s několika nezávislými externími snímači. Každý snímač bude napájen bateriově, navrhněte efektivní komunikační protokol pro sběr dat při minimální spotřebě. Na základě HW návrhu vytvořte DPS, osadte a oživte. Navrhněte a vytvořte řídicí SW mikrokontroléru a potřebné webové rozhraní. Dále vytvořte mechanickou konstrukci vhodnou do venkovního prostředí a realizovaný systém otestujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 22.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Lukáš Fojcik, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem systému pro vzdálené monitorování teploty skladovaného většího množství komodit pro chov koní. Úkolem navrženého systému by mělo být včasné upozornění pro zabránění rizika požáru samovznícením a komfortní zajištění nepřetržitého dohledu pro kvalitní a bezpečné uskladnění těchto komodit.

Hlavní modul komunikuje s několika autonomními teplotními snímači rozmístěnými na více místech. Získaná data je možné ukládat do vnitřní paměti, dále jsou zobrazena na displeji a přenášena Ethernetovou sítí do klientského PC, kde je možné uživatelským programem prohlížet naměřené teploty a zobrazit grafické průběhy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bezdrátová komunikace, Ethernet, měření teploty, mikrokontrolér, záznam.

ABSTRACT

This project describes the design of a system for remote temperature monitoring of stored a more commodities quantity for the horse-breeding. The main task of this system is the early alert before the fire developed to the spontaneous combustion and continuous monitoring of the quality and safety this commodities.

The main module communicates with several autonomous temperature sensors, which are located in multiplie locations. The measured values can be stored on an internal memory, displayed on the display and transmitted with the Ethernet network to the client computer, where it is possible this temperatures to view with in the user program and graphs.

KEYWORDS

Ethernet, microcontroller, recording, temperature measurement, wireless communication.

GÁL R. Systém vzdáleného monitorování teploty. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav mikroelektroniky, 2017. 33 s., 9 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou semestrální práci na téma Systém vzdáleného monitorování teploty jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené semestrální práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

1. ROZBOR PROBLEMATIKY	6
1.1. Charakteristika samovznícení	6
1.1.1. Fyzikální samovznícení	6
1.1.2. Chemické samovznícení	7
1.1.3. Biologické samovznícení	7
1.1.4. Charakteristika látek	8
1.1.5. Požadavky na zabezpečení požární ochrany	8
1.2. Běžně používané prostředky	9
1.2.1. Farmex HT-PRO	9
1.2.2. Bezdrátový měřič teploty TME Radio	10
2. NÁVRH SYSTÉMU	11
2.1. Požadavky na systém	11
2.2. Měřicí snímač	12
2.2.1. Teplotní senzory	12
2.2.2. Bezdrátová komunikace	16
2.2.3. Modul pro bezdrátový přenos	17
2.2.4. Mikrokontrolér ATmega88A	19
2.2.5. Napájení snímače	20
2.3. Hlavní jednotka	22
2.3.1. Mikrokontrolér ATmega128A	23
2.3.2. Modul Xport	23
2.3.3. LCD Displej	25
2.3.4. RTC obvod PCF8563	26
2.3.5. Zdroj napájení	26
2.4. Protokol bezdrátového přenosu	27
3. Realizace prototypu	30
3.1. Programové vybavení	30
3.2. Návrh DPS	30
3.2.1. Konstrukce snímače	30
3.2.2. Konstrukce hlavní jednotky	31
ZÁVĚR	32
LITERATURA	33

PŘÍLOHY.....	34
--------------	----

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Tyčový teploměr Farmex HT-PRO [2].....	9
Obr. 1-2 Bezdrátový měřič teploty TME Radio.....	10
Obr. 2-1 Koncepce systému	11
Obr. 2-2 Blokové schéma měřícího snímače	12
Obr. 2-3 Dělič R_A/RT	14
Obr. 2-4 Závislost U_2 na hodnotě R_A	14
Obr. 2-5 Fotografie modulu RFM22 [9]	17
Obr. 2-6 rozložení vývodů RFM22 [9]	18
Obr. 2-7 Základní struktura paketu [9].....	19
Obr. 2-8 Vybíjecí charakteristika článku GP15AU	20
Obr. 2-9 Dělič R_A/R_B	21
Obr. 2-10 Ochrana proti přepólování	22
Obr. 2-11 Blokové schéma hlavní jednotky	22
Obr. 2-12 Připojení modulu XPort k mikrokontroléru.....	24
Obr. 2-13 Možné zobrazení znaků na LCD [5].....	25
Obr. 2-14 Zapojení obvodu PCF8563	26
Obr. 2-15 Schéma zapojení napájecího zdroje.....	27
Obr. 2-16 Znázornění přenosu mezi snímačem a hlavní jednotkou.....	29
Obr. 3-1 Realizace prototypu snímače	31
Obr. 3-2 Realizace prototypu hlavní jednotky	31

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 Charakteristika látek.....	8
Tabulka 2.1 Srovnání parametrů teplotních senzorů.....	12
Tabulka 2.2 Hodnota U2 a ADC pro stanovený rozsah teplot.....	16
Tabulka 2.3 Nejčastěji používaná pásma [4]	17
Tabulka 2.4 Význam vývodů RFM22 [9]	18
Tabulka 2.5 Struktura datového paketu snímače	28
Tabulka 2.6 Struktura potvrzovacího ACK paketu od hlavní jednotky	28

ÚVOD

Pro chov hospodářských zvířat je důležité zajistit dostatek pitné vody, krmiva a kvalitní objemné povrchové podestýlky, která je pomáhá udržet v teple a pohodlí. Proto je nezbytné mít připravené větší množství těchto látek. Přestože se to na první pohled nemusí zdát, uskladnění těchto materiálů vyžaduje určitou pozornost. Zejména u materiálů, jako jsou obiloviny, sláma, seno, nebo piliny, může dojít vlivem působení mikroorganismů a vlhkosti k tzv. biologickému samovznícení, které vede k požáru a následným vysokým materiálními škodám. Pokud jsou tyto materiály skladovány v blízkosti zvířat, pak pochopitelně i k ohrožení jejich života.

Úkolem této práce je provést rozbor dané problematiky a navrhnout prototyp systému pro sledování teploty komodit uskladněných pro chov koní. Cílem není konkurovat komerčním výrobkům, ale navrhnout a sestavit jednoúčelové zařízení. Navržený systém bude schopen provádět sběr naměřených dat pomocí několika vpichovacích snímačů rozmístěných po uskladněných látkách, dále měřit okolní venkovní teplotu a vlhkost pro posouzení skladovacích podmínek a vyhodnocení možných rizik. Tyto veličiny budou primárně vyobrazeny na LCD displeji a přenášeny na webový server pro přístup kdykoliv a odkudkoliv. Navržený systém může sloužit i jako základ složitějších senzorových systémů.

První část práce studuje možné příčiny samovznícení hořlavých látek a jsou zmíněna preventivní opatření. Dále jsou prostudovány některé běžně používané systémy a zhodnoceny jejich nedostatky.

Další část pojednává o návrhu koncepce zařízení a výběru optimálních komponentů pro realizaci prototypu. Jsou prostudovány možnosti bezdrátové komunikace mezi hlavní jednotkou a jednotlivými snímači. Zde bude popsán i způsob komunikace mezi použitými komponenty.

Poslední část obsahuje návrh možného protokolu sloužícího ke zprostředkování komunikace mezi hlavním modulem.

1. ROZBOR PROBLEMATIKY

1.1. Charakteristika samovznícení

Samovznícení je proces [1], ke kterému dochází při samozahřívání látky důsledkem tepelného úniku, ke kterému dochází zvyšováním teploty důsledkem exotermických interních reakcí. Podstatou samozahřívání je, pokud množství vzniknutého tepla je větší než množství do okolí odváděného tepla.

Každý proces samovznícení může probíhat různě rychle, řádově minuty pro organokovové sloučeniny, hodiny (textil nasáknutý lněným olejem), dny (nitrocelulóza, obiloviny), týdny (seno, sláma) až měsíce (piliny, dřevěné pelety, hnědé uhlí...).

Podle podílu procesu zvyšování teploty v počátcích samozahřívání rozlišujeme samovznícení na:

- Fyzikální
- Chemické
- Biologické

1.1.1. Fyzikální samovznícení

Typickým příkladem tohoto typu je samovznícení uhlí, které způsobuje absorpce plynů a par na povrchu uhelné hmoty. Následuje nárůst teploty na kritickou mez, která je přibližně 65 °C a při které začíná oxidovat uhlí a proces přechází do samovznícení. Tomu napomáhá:

- skladování ve větším množství
- nestejněměrná zrnitost (přítomnost prachu)
- vlhkost

Za ohnisko samovznícení je považováno místo, kde teplota dosáhla 65 °C, nebo kde se teplota během 24 hodin zvyšuje o více než 3 °C.

K fyzikálnímu samovznícení může dojít i ohřevem látky (např. tepelné samovznícení dřeva, pilin, kalafuny, bavlny, tabáku, papíru, celuloidu apod.) nebo úderem (např. třaskaviny).

1.1.2. Chemické samovznícení

K chemickému samovznícení dochází stykem dvou nebo více látek, při němž probíhá exotermická reakce a uvolňuje se velké množství tepla.

Tyto chemické děje jsou vyvolány:

- stykem s kyslíkem (u látek samozápalných na vzduchu, jako např. bílý fosfor)
- stykem s vodou (sodík, draslík a jejich sloučeniny)
- stykem s oxidačními činidly, přičemž oxidovadla mohou značně snížit teplotu vznícení až na okolní teplotu)

1.1.3. Biologické samovznícení

K biologickému samovznícení jsou náchylné rostlinné materiály, jako je seno sláma, luskoviny, obilniny apod.

Podstatou biologického samovznícení je postupný nárůst teploty v důsledku činnosti mikroorganismů (bakterií), které vede k zahřívání. Při teplotě asi 70 °C začnou bakterie odumírat. Teplota je však již dostačující pro rozpad některých jednodušších rostlinných látek, z nichž vzniká uhlík. Uhlík dále funguje jako v případě uhlí - oxiduje, a tím zvyšuje teplotu látky, vzniká další uhlík a při teplotě 250 až 300 °C pak dojde ke vznícení rostlinné hmoty.

Podmínky pro biologické samovznícení jsou:

- vlhkost (za suché je považováno seno s maximálním obsahem vlhkosti 16 %)
- uskladnění většího množství pohromadě (minimálně asi 3000 kg, tj 35 m³)
- minimální doba uskladnění (8 až 10 dnů)
- nerovnoměrné rozložení vlhkosti (různorodá jakost vrstvené hmoty)

Je tedy zřejmé, že k samovznícení běžných hořlavých látek přispívá působení běžných vnějších vlivů, jakými jsou styk s kyslíkem, absorpce vlhkosti, působení bakterií nebo zvýšená okolní teplota.

1.1.4. Charakteristika látek

Požadavkem v této práci je zajistit včasné upozornění pro zabránění rizika požáru samovznícením sena, slámy a dřevěných pilin, které jsou uskladněny a používány pro chov koní. V tabulce 1.1 jsou popsány charakteristické vlastnosti těchto látek [1]:

Tabulka 1.1 Charakteristika látek

Parametr / látka	Seno	Sláma	Smrk. piliny
Hustota	70 kg/m ³	80 kg/m ³	80 kg/m ³
Vlhkost	8 %	7 %	5-8 %
Teplota vznícení	330 °C	310 °C	347 °C
Teplota samovznícení	70 °C	80 °C	80 °C
Teplota žhnutí	204 °C	210 °C	220 °C
Teplota hoření	204 °C	200 °C	229 °C

Seno:

Vlhké seno skladované ve větším množství je náchylné k biologickému samovznícení. Je možné i chemické samovznícení působením oxidačních prostředků. Seno lze lehce zapálit jiskrou nebo stykem s plochami a předměty s teplotou vyšší než 60 °C. Biologické samovznícení lze omezit přidáním 400 g kuchyňské soli na 100 kg sena.

Sláma:

Je náchylná k fyzikálnímu, chemickému i biologickému samovznícení. Slámu lze rovněž lehce zapálit jiskrou nebo stykem s horkými předměty.

Smrkové piliny:

Již při vlhkosti nad 30 % může dojít k biologickému samovznícení. Piliny lze lehce zapálit jiskrou a stykem se zdroji teploty větší než 100 °C a je možné i samovznícení působením silných kyselin.

1.1.5. Požadavky na zabezpečení požární ochrany

Každý sklad musí být zabezpečen před vniknutím cizích osob, jakákoliv manipulace s otevřeným ohněm je nepřípustná. Veškerá elektrická kabeláž musí být chráněna před

mechanickým poškozením, elektrická zařízení před vniknutím cizích těles, která by mohla způsobit požár. Uskladněná hmota musí být chráněna před vlhkostí. Je nutné provádět pravidelná měření teplot uskladněných hmot a naměřené hodnoty zaznamenávat. Teplota se měří tepelnými čidly nebo hloubkovými teploměry nejméně v polovině výšky naskladněné hmoty, přičemž měřicí místa se musí průběžně měnit. Měřicí místa a způsob jejich střídání určí zodpovědný pracovník v závislosti na objemu látky. Hmota se musí měřit nejméně 1x za 24 hodin, u klasického teploměru je snímací část ponechána minimálně 10 minut. Při naměření 45 °C až 65 °C je nutné věnovat zvýšenou pozornost, měření opakovat v krátkých intervalech a připravit opatření pro vyskladnění a ochlazování přehřáté hmoty. Při naměřené teplotě nad 65 °C je nutné přehřátou hmotu okamžitě vyskladnit a ochladit. Překontrolovanou hmotu je možné vrátit do skladu. V extrémních případech při naměřené teplotě nad 90 °C ihned hmotu vyskladnit za asistence jednotky HZS.

1.2. Běžně používané prostředky

Z předchozí části vyplývá, že k samovznícení dochází při určitých procesech k postupnému nárůstu teploty skladované látky. Přímý vzdálený dohled uskladněných zemědělských komodit se nepodařilo setkat se s vhodným prostředkem, jako možnou alternativu však lze použít tyčový vpichovací teploměr [2] nebo bezdrátový měřič teploty [3], které budou dále představeny.

1.2.1. Farmex HT-PRO

Tyčový vpichovací teploměr a vlhkoměr Farmex HT-PRO (obr. 1-1) je určen ke zjišťování teploty a vlhkosti v balících sena a slámy. Přístroj disponuje dvouřádkovým podsvíceným displejem a dokáže z více uložených hodnot vypočítat průměrnou vlhkost a teplotu v balíku, pokud se provádí měření na více místech. Napájení zajišťuje destičková 9 V baterie, rozsah měřené teploty je 0-99 °C, vlhkosti 8-30 %, udávaná přesnost je 0,1 °C pro teplotu a $\pm 1,5$ % pro vlhkost [2].



Obr. 1-1 Tyčový teploměr Farmex HT-PRO [2]

Protože se jedná o samostatný přístroj, je vhodný spíše pro lokální zjišťování, kde bude vyžadována přítomnost obsluhy. V případě monitorování většího množství uskladněné látky je nezbytné provádět měření na více místech, což je časově náročnější, pokud má být ještě vyhověno výše popsaným požadavkům.

Cena přístroje se pohybuje okolo 9 500,- Kč. Na trhu existuje spousta variant a modifikací tohoto přístroje, lišící se konstrukcí, principem (nejlevnější s analogovou stupnicí, založené na bimetalu nebo elektronické), rozsahem, přesností a podpůrnými funkcemi. Hlavní nevýhodou je nemožnost dálkového monitorování.

1.2.2. Bezdrátový měřič teploty TME Radio

Jedná se o autonomní bezdrátový systém měření teploty, pracující v pásmu 868 MHz. Systém se skládá z bezdrátové základny TME (obr. 1-2), která nashromážděná data odesílá prostřednictvím Ethernetového rozhraní na server, kde mohou být vhodným způsobem ukládána a zpracovávána, a ze soustavy rádiových teplotních senzorů TMW. Soustavu lze doplnit měřičem vlhkosti, který je obdobné koncepce jako TMW.



Obr. 1-2 Bezdrátový měřič teploty TME Radio

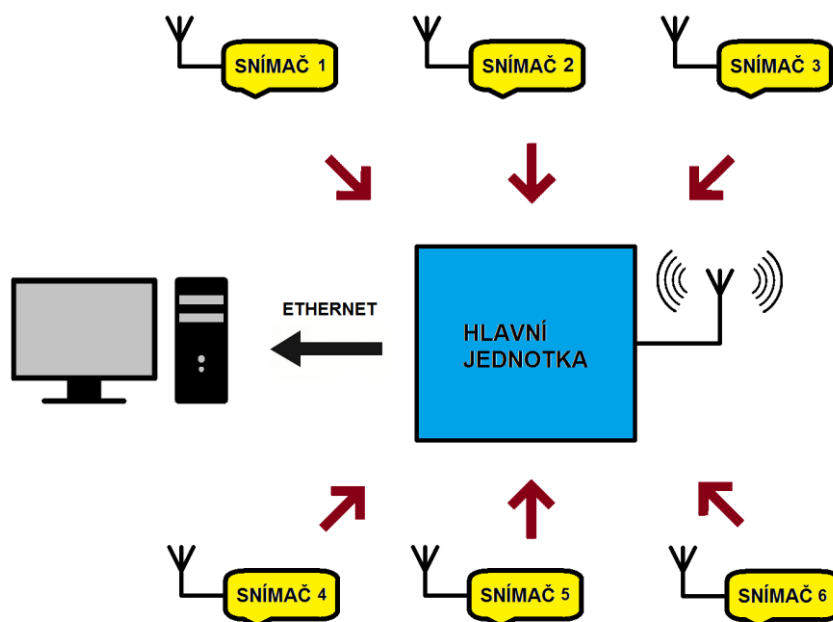
K základně může být připojeno současně 32 senzorů, výrobce udává dosah 100 m. Rozsah měřené teploty je -40 až $+125$ °C s přesností 0,5 °C. Napájení senzoru zajišťuje baterie CR123A, výdrž baterie je garantována 3 roky.

Tento systém postrádá vizuální rozhraní, kterým by bylo možné na místě zjistit aktuální teplotu – konfiguraci, náhled teplot zde probíhá pouze přes webové rozhraní, pro kontrolu je tedy zapotřebí PC nebo notebook s připojením. Další nevýhodou je nevhodná konstrukce měřících senzorů, v tomto případě by vyhovovala spíše tyčová sonda podobná předchozímu příkladu. Uvedený systém je vhodný spíše pro vnitřní sklady.

2. NÁVRH SYSTÉMU

2.1. Požadavky na systém

Hlavním požadavkem je nepřetržitý dohled teploty uskladněné slámy, sena a dřevěných pilin, přičemž každá tato látka je průběžně monitorována dvěma snímači, celkem je tedy zapotřebí šest snímačů pro dlouhodobé zjišťování teploty. Každý snímač musí mít přehled o stavu svého napájecího článku. Tyto hodnoty jsou prostřednictvím bezdrátové komunikace odesílány hlavní jednotce, která provádí příjem, vyhodnocení, ukládání a zobrazení na displeji. Aby bylo možné přistupovat ke zjištěným údajům v kteroukoliv dobu odkudkoliv, tedy nejen v dosahu hlavní jednotky, je tato jednotka vybavena Ethernetovým rozhraním, ke kterému je zajištěn přístup po místní elektrické síti 230 V pomocí adaptéru Powerline.

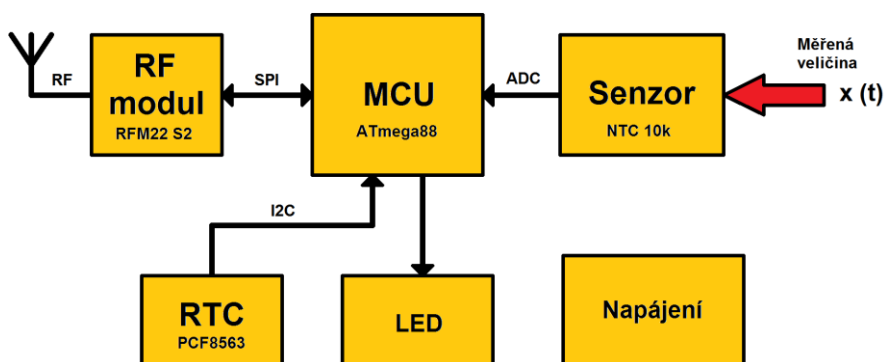


Obr. 2-1 Koncepce systému

Celá koncepce systému je znázorněna na obrázku 2-1. Snímače musí mít z hlediska provozu co nejvyšší spolehlivost a co nejnížší spotřebu. Nároky na hlavní jednotku jsou stejné, ale spotřeba zde již není tak kritická. Snímače musí být schopny měřit teplotu v rozsahu $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$, pokud dojde ke zjištění překročení teploty nad stanovenou mez, měřící bod musí nahlásit problém hlavní jednotce. Vzhledem k relativně malému gradientu snímaných teplot bude perioda měření a vysílání snímačů nastavitelná v rozmezí 1–60 minut. Je potřeba experimentálně zvolit kompromis mezi vlastní spotřebou. Pro výsledný systém se předpokládá celoroční nepřetržitý provoz, měl by tedy vydržet celoroční klimatické podmínky. Dále se předpokládá jednoduchost použití a možnost rozšíření o další snímače.

2.2. Měřicí snímač

Měřicí snímač (obr. 2-2) se skládá z vhodného teplotního senzoru, který převádí měřenou teplotu na elektrický signál. Ten je dále zpracováván mikrokontrolérem do podoby vhodné k bezdrátovému přenosu. O napájení se starají alkalické články. Spolu s naměřenou teplotou se přenáší i informace o napětí těchto článků. Pro maximální úsporu energie dochází v době nečinnosti k vypnutí RF modulu a uspání mikrokontroléru. Mikrokontrolér je periodicky probouzen vnitřním čítačem. Po probuzení dojde ke změření teploty, napětí baterie, odeslání těchto údajů nadřazené hlavní jednotce a opětovnému uspání.



Obr. 2-2 Blokové schéma měřicího snímače

2.2.1. Teplotní senzory

Existuje velké množství teplotních senzorů, které se vzájemně liší rozsahem, rozlišením, přesností, spotřebou a cenou. Pro výběr teplotního senzoru pro realizaci měřicího bodu je vyžadována co nejnížší spotřeba jak v aktivním, tak především v klidovém režimu, vyšší rychlost měření teploty, dostatečná přesnost a pokud možno co nejmenší rozměry.

Tabulka 2.1 Srovnání parametrů teplotních senzorů

Parametr:	DS18B20	Pt100	NTC 10k
Napájecí napětí	3 – 5,5 V	> 0 V	> 0 V
Max. spotřeba v akt. režimu	1,5 mA	3 mA	0,3 mA
Max. spotřeba v klid. režimu	1 uA	0	0
Teplotní rozsah	-55 – 125 °C	-50 – 600 °C	-40 – 125 °C
Přesnost	±2 °C	±1 °C (tř. A)	±1 °C
Rozlišení	9 – 12 b	10 b ¹	10 b ¹
Doba převodu	94 – 750 ms	67 us ¹	67 us ¹
Výstup	1-Wire	Analogový	Analogový

¹ Dle použitého A/D převodníku ATMEGA88

Vzhledem ke skutečnosti, že samotný senzor bude umístěn ve větší vzdálenosti od DPS s elektronikou (ve cca 150 cm dlouhé kovové kulatině), je vhodné minimalizovat počet potřebných přípojovacích vodičů. Sensory teploty byly vybírány z následujících možností se srovnatelnými parametry:

DS18B20 je digitální senzor s volitelným 9 – 12 bitovým rozlišením a přesností ± 2 °C při plném rozsahu, případně $\pm 0,5$ °C v omezeném rozsahu. Tento senzor komunikuje s okolím číslicově pomocí sběrnice 1-Wire a je vždy typu Slave. Doba převodu při 9-bitovém rozlišení se pohybuje okolo 94 ms, při nejvyšším 12-bitovém rozlišení pak 750 ms. Výhodou je poměrně jednoduchá obsluha (pouze naprogramování 1-Wire protokolu) a odpadnutí nutnosti kalibrace, nevýhodou je potřeba vyššího napájecího napětí (od 3 V výše).

Tento senzor je dodáván v pouzdrech TO-92, 8-pin uSOP a 8-pin SO a je zapotřebí tří, eventuálně dvou přípojovacích vodičů.

Pt100 využívá závislosti odporu na teplotě s kladným teplotním součinitelem. Závislost odporu na teplotě lze vyjádřit vztahem:

$$R_T = R_0 \cdot (1 + 3,908 \cdot 10^{-3} T - 0,5802 \cdot 10^{-6} T^2), \quad (1)$$

kde platí:

R_0 [Ω] je odpor při 0 °C

R_T [Ω] je odpor při teplotě T [K]

Hodnota odporu Pt100 při 0 °C je 100 Ω. Výhodou tohoto senzoru je linearita a časová stálost, rozlišení zde závisí na rozlišení použitého A/D převodníku, udávaná přesnost je ± 1 °C (platí pro třídu A). Za další výhodou obecně lze považovat větší rozsah měřené teploty, pro tuto aplikaci je ovšem vysoký teplotní rozsah spíše nevýhodou, neboť by se omezený použitý rozsah musel vhodně upravit můstkovým zapojením a zesílit, aby bylo maximálně využito plného rozsahu A/D převodníku.

Termistor NTC 10k využívá stejně jako Pt100 závislosti odporu na teplotě, avšak se záporným teplotním součinitelem. Závislost odporu termistoru na teplotě lze vyjádřit vztahem:

$$R_T = R_0 \cdot e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})} \quad (2)$$

kde platí:

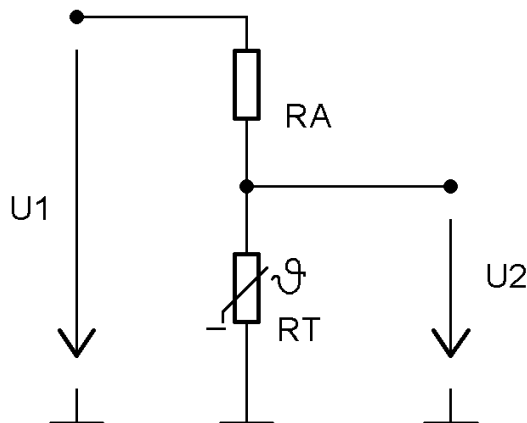
R_0 [Ω] je odpor při T_0 [K]

R_T [Ω] je odpor při T [K]

B je konstanta udávaná výrobcem termistoru

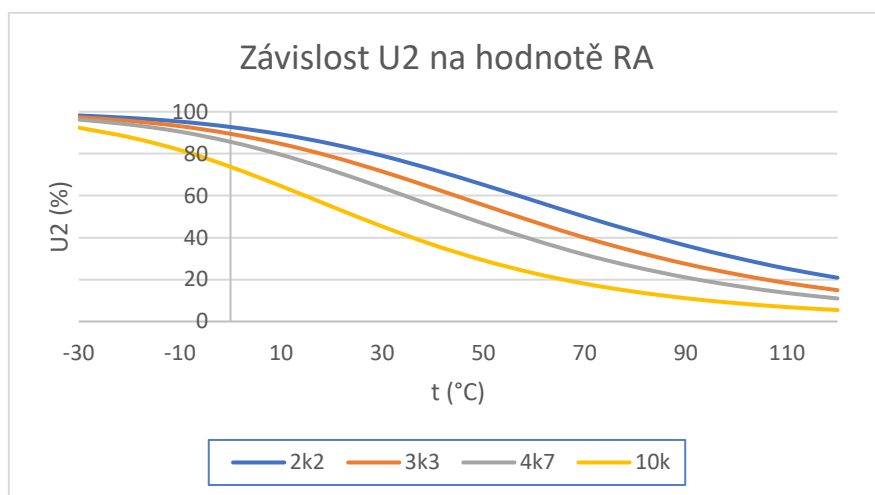
Hodnota odporu tohoto termistoru je 10 kΩ při 25 °C, rozlišení rovněž závisí na rozlišení použitého A/D převodníku. Výhodou tohoto senzoru oproti DS18B20 je skutečnost, že jej lze provozovat i při nižších napájecích napětích, než jsou 3 V, a dále oproti Pt100 lepší

využití dynamického rozsahu a rovněž nejnížší spotřeba. Nevýhodou je nelinearita, která se musí dále vhodně upravit.



Obr. 2-3 Dělič RA/RT

Dle výše zmíněných faktů se jako nejvhodnější řešení jeví použití NTC termistoru, který bude zapojen spolu s RA jako dělič napětí, měřená teplota se tedy převede na napětí (obráz. 2-3).



Obr. 2-4 Závislost U2 na hodnotě RA

Použití vzorce (2) pro výpočet teploty by vyžadovalo použití desetinných čísel a exponenciálních tvarů, což není pro zvolený mikrokontrolér vhodné řešení. Bude využito předdefinované vyhledávací tabulky informující o vztahu mezi odporem termistoru a výslednou teplotou. Tuto tabulku lze minimalizovat při uvažování lineární závislosti mezi po sobě

jdoucími celočíselnými hodnotami teploty. Na obrázku 2-4 je sestaven graf závislosti vstupního napětí děliče pro několik běžných hodnot rezistoru R_A při uvažovaném teplotním rozsahu. Hodnota R_A je zvolena $3,3 \text{ k}\Omega$, průběh U_2 se v tomto případě jeví jako nejvíce lineární.

Dělicí poměr lze vypočítat jako:

$$U_2 = \frac{R_T}{R_T + R_A} \cdot U_1 \quad (3)$$

Hodnota 10-ti bitového ADC je po dosazení dána vztahem:

$$ADC = \frac{U_2 \cdot 1024}{U_1} \quad (4)$$

Po dosazení za U_2 ze vztahu (3) dále dostaneme:

$$ADC = \frac{R_T}{R_T + R_A} \cdot U_1 \cdot \frac{1024}{U_1} = 1024 \cdot \frac{R_T}{R_T + R_A} \quad (5)$$

Ze vzorce (5) vyplývá, že pokud bude jako referenční napětí ADC použito napájecí napětí U_1 , pak případný pokles tohoto napětí nebude mít na výslednou hodnotu žádný vliv.

Pro uvažovaný rozsah teplot lze meze U_2 vypočítat jako:

$$U_{2min} = \frac{R_{Tmin}}{R_{Tmin} + R_A} \cdot U_1 = \frac{121,74 \text{ k}}{121,74 \text{ k} + 3,3 \text{ k}} \cdot 3 \cong 2,92 \text{ V} \quad (6)$$

$$U_{2max} = \frac{R_{Tmax}}{R_{Tmax} + R_A} \cdot U_1 = \frac{0,58 \text{ k}}{0,58 \text{ k} + 3,3 \text{ k}} \cdot 3 \cong 0,45 \text{ V} \quad (7)$$

Pro uvažovaný rozsah bylo vypočítáno napětí U_2 (vztah 3) a následná hodnota 10-ti bitového ADC (vztah 5) pro několik hodnot teploty ve stanoveném rozsahu. Tyto hodnoty zahrnuje tabulka 2-2.

Tabulka 2.2 Hodnota U_2 a ADC pro stanovený rozsah teplot

T (°C)	R_T (kΩ)	U₂ (V)	ADC
-30	121,74	2,92	997
0	28,08	2,68	916
30	8,28	2,15	732
60	2,99	1,43	487
90	1,25	0,82	281
120	0,58	0,45	153

2.2.2. Bezdrátová komunikace

Bezdrátová komunikace se používá pro spojení dvou a více zařízení, pokud je nemožné nebo nežádoucí použití běžného kabelového spojení.

Mezi výhody tohoto řešení patří mobilita a jednoduchá instalace, čímž odpadá nutnost pracné instalace kabeláže. V některých případech hrozí i riziko poškození kabeláže.

Nevýhodou je zejména potřeba vlastního napájení pro každý použitý senzor. Tyto prostředky se musí vybavit bateriemi nebo akumulátorem, a tím správně zvolit jejich kapacitu s ohledem na vlastní spotřebu každého senzoru k dosažení dostatečně dlouhých intervalů jejich výměny. Další možností je jednotlivé senzory napájet přímo ze sítě v místě jejich umístění, nicméně toto řešení omezuje jejich mobilitu. Rovněž je vyžadován složitější a tím i dražší návrh takovýchto prostředků, avšak z pohledu potřeby sběru dat z více vzdálenějších míst bývá toto řešení mnohdy jednodušší a efektivnější.

V kmitočtovém spektru jsou vymezena volná bezlicenční pásma označená zkratkou ISM (Industrial, Scientific, Medical), tedy pásma určená pro použití v průmyslovém, vědeckém a lékařském rádiovém vysílání, ve kterých je povolen provoz homologovaných rádiových zařízení. Veškerá dostupná kmitočtová pásma včetně vysílacích výkonů se liší dle jednotlivých států a regionů. V České republice se o správu ISM pásma stará Český telekomunikační úřad [4]. Tabulka 2-3 stručně uvádí některá kmitočtová pásma používaná v ČR.

Nejpoužívanější volná kmitočtová pásma vyplývají z tabulky 2-3, jsou to: 433 MHz, 868 MHz a 2,4 GHz. Pásmo 2,4 GHz bývá využíváno k provozování Wifi sítí a Bluetooth, zde je možnost potýkat se se vzájemným rušením těchto technologií. Pásmo 433 MHz bývá využíváno pro krátké a střední vzdálenosti. Nicméně toto pásmo je velmi vytížené a může zde opět docházet ke vzájemnému rušení s ostatními zařízeními sdílející tento kmitočet. Oproti tomu předpisy pro pásmo 868 MHz jsou více omezující než předpisy pro 433 MHz. Interference s jinými zařízeními jsou tedy více redukovány, čímž je zajištěna přijatelnější kvalita přenosu informací.

Tabulka 2.3 Nejčastěji používaná pásma [4]

Frekvence	Poznámka
27 MHz	Provoz je možný
49 MHz	Provoz je nepřipustný
230 – 400 MHz	Pásmo určené pro obranu státu
433 MHz	Provoz je možný
470 – 862 MHz	Omezeně provoz bezdrátových mikrofonů
868 – 870 MHz	Provoz je možný
870 – 960 MHz	Provoz mobilních telefonů GSM
2,4 GHz	Provozování zařízení krátkého dosahu, nutnost dodržení stanoveného výkonu

2.2.3. Modul pro bezdrátový přenos

Každý jednotlivý senzor musí mít možnost obousměrné komunikace, to je důležité pro možnost ověření platnosti přijatých dat a tím ke snížení energetické náročnosti oproti opakovanému vysílání při jednosměrném přenosu.

Základními parametry pro výběr komunikačního modulu byla cena, spolehlivost, napájecí napětí a spotřeba. Po zvážení těchto parametrů byl vybrán komunikační modul RFM22 (obr. 2-5) od společnosti HOPE Microelectronics, který je oblíbený a osvědčený z mnoha jiných projektů. Tento modul je typu Transceiver, obsahuje vysílač i přijímač a umožňuje tak přenos dat v half-duplexu.



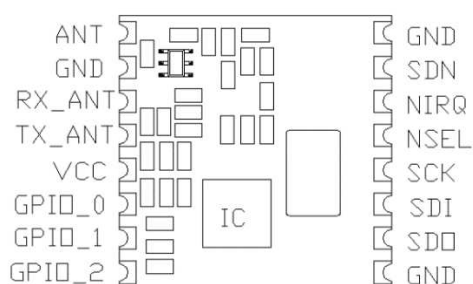
Obr. 2-5 Fotografie modulu RFM22 [9]

Následující seznam uvádí klíčové vlastnosti, ke kterým bylo přihlédnuto při výběru:

- Rozsah nosné frekvence 240 - 930 MHz
- Napájecí napětí 1,8 – 3,6 V
- Výstupní výkon nastavitelný v rozmezí +8 - +17 dBm
- Citlivost -118 dBm
- Spotřeba 27 mA při výstupním výkonu +11 dBm, 18,5 mA při příjmu, od 10 nA v režimu spánku

- Typ modulace OOK, FSK a GFSK
- Komunikační rozhraní SPI, maximální přenosová rychlost 128 kbps
- Provozní teplotní rozsah -40 - +85 °C

Rozložení vývodů je na obrázku 2-6, jejich význam je popsán v tabulce 2.4. Rozměry modulu jsou 16 x 16 mm, montáž se provádí připájením pomocí půlených prokůvů, ke kterým je dobrý přístup pro pájení hrotem mikropáječky. Existuje i varianta s připojením pomocí dvouřadé kolíkové lišty s nestandardní roztečí 2 mm.



Obr. 2-6 rozložení vývodů RFM22 [9]

Tbuka 2.4 Význam vývodů RFM22 [9]

Označení	Směr	Popis
Vcc	-	Napájecí napětí 1,8 – 3,6 V
GND	-	Zem
GPIO0-2	I/O	Univerzální programovatelný vstup / výstup
SDO	O	Výstup SPI
SDI	I	Vstup SPI
SCLK	I	Hodiny SPI
nSEL	I	Slave select (akt. L)
nIRQ	O	Výstup přerušení pro MCU (akt. L)
SDN	I	Vypnutí modulu (L = zapnut, H = vypnut)
TX_ANT	I	Výběr módu – vysílač
RX_ANT	I	Výběr módu - přijímač
ANT	-	Připojení antény

Komunikace s modulem probíhá prostřednictvím sběrnice SPI, přičemž pro připojení k mikrokontroléru je zapotřebí čtyř základních signálových vývodů. Vývody SDO a SDI zprostředkovávají přenos dat, vývod SCLK přenáší hodinový signál generovaný mikrokontrolérem, zápis přitom probíhá s náběžnou hranou, a vývod nSEL, sloužící pro výběr zařízení SLAVE ze strany od mikrokontroléru. Dalším možným signálovým vývodem je volitelně nIRQ, který slouží jako indikace přerušení z nastavených vnitřních registrů modulu. Může sloužit např. k indikaci přijatých platných dat, nebo signalizovat jiné důležité stavy. Jeho použití je výhodné, neboť odpadá nutnost pravidelného dotazování. Vypnutí modulu je možné vývodem SDN v aktivní úrovni H. Spojením vývodů GPIO_0 s RX_ANT a GPIO_1

s TX_ANT dojde k využití vnitřního přijímacího a vysílacího registru, v tomto případě modul vyžaduje pouze nastavení některých nezbytných základních parametrů pro přenos dat a tím odpadá další zásah ze strany mikrokontroléru.



Obr. 2-7 Základní struktura paketu [9]

Komunikační paket modulu RFM22 (obrázek 2-7) je složen z úvodní části, tzv. Preamble hlavičky o nastavitelné délce až 512 B. Její základní hodnota je 0x55, což je v podstatě střídající se nula a jednička. Pomocí ní dokáže přijímač detekovat příjem nového paketu a současně dochází k jeho zasynchronizování. Následuje synchronizační slovo Sync Word o délce 1–4 B, které slouží k základní filtraci přijatých dat. Modul ukládá přijatá data do své paměti až po detekci tohoto slova. Volitelně následují záhlaví TX Header a Packet Length, který udává velikost přijímaného paketu. Dále následuje blok přijatých dat a volitelný kontrolní součet CRC. Tyto položky je možné nakonfigurovat tak, aby byly automaticky generovány a přidávány k poli přenášených dat samotným modulem. Mikrokontrolér se tak stará pouze o přenos informace a tím dochází k úspoře potřebného výpočetního výkonu. Samotný přenos probíhá dle následujícího schématu: Mikrokontrolér nastaví parametry přenosu, zapíše data do 64 Bytového vysílacího zásobníku (TX FIFO) a vyšle požadavek k přenosu. Na přijímací straně jsou data zapsána do 64 Bytového přijímacího zásobníku (RX FIFO), po jehož naplnění dojde k vygenerování přerušeni pomocí vývodu nIRQ a přijatá data je možné vyčíst.

2.2.4. Mikrokontrolér ATmega88A

V dnešní době se lze setkat s mnoha řadami mikrokontrolérů různých výrobců lišící se například architekturou, velikostí vnitřní paměti, výbavou periférií apod. Na základě předchozích zkušeností budou použity mikrokontroléry AVR ATmega od firmy Microchip Technology Inc. Jedná se o řadu 8-bitových mikrokontrolérů s RISC jádrem a výpočetním výkonem až 16 MIPS při hodinovém kmitočtu 16 MHz s oddělenou vnitřní FLASH pamětí pro program. Tyto mikrokontroléry disponují programovatelnými vstupně-výstupními obvody a širokým spektrem podpůrných periférií jako jsou čítače/časovače, nejpoužívanější rozhraní (SPI, UART, I2C...), ADC převodníky, programovatelný Watchdog, možnost připojení vnitřních Pull-up rezistorů atd..

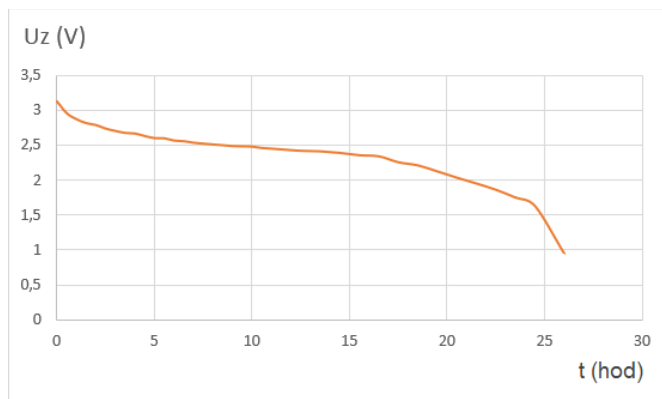
Nejdůležitější požadavky pro výběr mikrokontroléru jsou:

- Minimální napájecí napětí 2 V
- Dva kanály A/D převodníku pro měření teploty a napětí baterií
- SPI rozhraní pro komunikaci s RFM modulem
- Nezávislý vstup reagující na úroveň externího přerušení při dokončeném příjmu od RFM modulu
- Alespoň 4 volné vstupně-výstupní vývody
- Vnitřní časovač s možností připojení externího krystalu
- Možnost Sleep režimu

Lze se domnívat, že nároky na vnitřní paměť nebudou příliš vysoké. Na základě těchto požadavků byl zvolen mikrokontrolér ATmega88A, splňující tyto požadavky s vnitřní FLASH pamětí o velikosti 8 MB.

2.2.5. Napájení snímače

Napájení měřícího bodu zajišťuje dvojice alkalických AA článků 1,5 V zapojených v sérii. Důvodem použití těchto článků je jejich velikost, snadná dostupnost a poměrně velká kapacita. Pokud bychom chtěli prodloužit dobu provozu měřícího bodu, není velký problém upravit pouzdro pro dva C nebo D články.

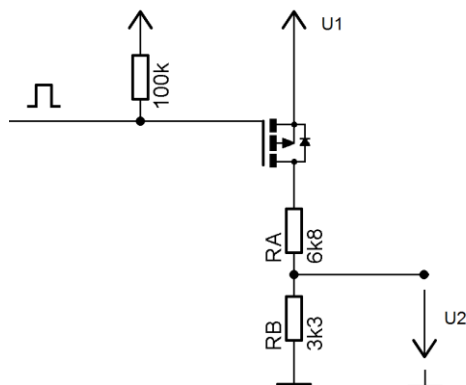


Obr. 2-8 Vybíjecí charakteristika článku GP15AU

Volba napájecího napětí 3 V je podřízena napájecímu napětí bezdrátových RF modulů, které nesou více jak 3,6 V. Pomocí zapojení klasického proudového zdroje sestaveného ze dvou NPN tranzistorů nastaveného na 100 mA byla změřena vybíjecí charakteristika dvou sériově zapojených alkalických AA článků GP15AU od výrobce GP Batteries (obr. 2-8). Z této

charakteristiky je patrné, že jmenovité napětí článku se snižuje ke zhruba 1,7 V po dobu 25 hodin, poté jsou články vyčerpány. Kapacita článku je tedy přibližně 2 500 mAh. Snímače by proto měly být schopny pracovat ještě při napětí 2 V.

K tomu, aby měl každý snímač přehled o stavu svého napájení, je potřeba toto napětí vhodným způsobem měřit. K tomu slouží obvod dle obrázku. Napětí U_1 z děliče R_A/R_B je přiváděno na vstup ADC převodníku mikrokontroléru (obr. 2-9).



Obr. 2-9 Dělič R_A/R_B

Přesnost měření napájecího napětí je stanovena jako $\Delta U_1 = 10 \text{ mV}$. Referenční napětí použitého ADC je $U_{REF} = 1,1 \text{ V}$. Rozlišení ΔU_{ADC} bude:

$$\Delta U_{ADC} = \frac{U_{REF}}{2^{10}} = \frac{1,1}{1024} \cong 1,0742 \text{ mV} \quad (8)$$

Vzhledem k tomu, že horní mez napájecího napětí je 3 V, měl by optimální poměr děliče R_A/R_B pro využití rozsahu ADC být v tomto případě 1:3. Dělicí poměr R_D je stanoven dle vztahu:

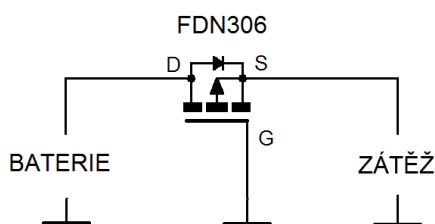
$$R_D = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_{ADC}} : 3 = \frac{10 \text{ mV}}{1,0742 \text{ mV}} : 3 \cong 0,31 \quad (9)$$

Pokud hodnotu R_B zvolíme 3,3 k Ω , pak trojčlenkou dostaneme:

$$\frac{2,1}{1} = \frac{R_A}{3300} \rightarrow R_A = 6930 \Omega \quad (10)$$

Z řady E12 je vybrána nejbližší hodnota $R_A = 6,8 \text{ k}\Omega$.

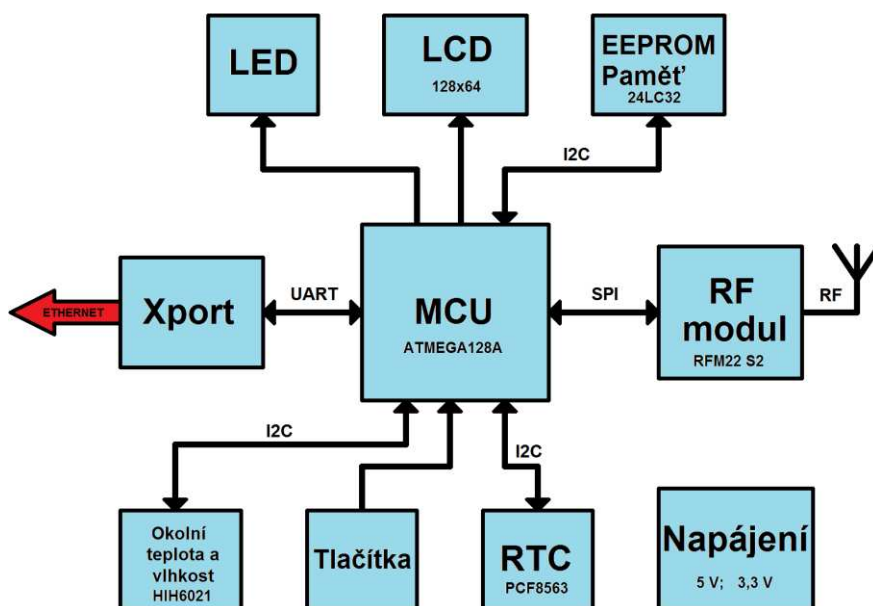
Při připojování napájení snímače nelze zcela vyloučit přepólování baterie. Pokud bychom použili běžnou diodu v sérii se zátěží, vzniknul by na Si diodě nežádoucí úbytek napětí zhruba 0,5 V, v lepším případě zhruba 0,25 V při použití Schottkyho diody. Tím by se zbytečně snížila účinnost. Při použití antiparalelní diody k zátěži sice dojde k ochraně obvodu, nicméně dojde ke zbytečnému vybíjení článků. Jako účinná ochrana před přepólováním slouží obvod dle obrázku 2-10 složený z P-MOS tranzistoru. Při správné polaritě dojde k otevření vnitřní diody a vedení proudu do zátěže, čímž dojde k vyvolání úbytku U_{DS} a sepnutí tranzistoru. V opačném případě nedojde k vedení proudu přes vnitřní diodu. Jako P-MOS byl zvolen typ FDN306 s $U_{GS} -1,8\text{ V}$ a s vnitřním odporem $80\text{ m}\Omega$, který má při maximálním možném odběru 100 mA úbytek zanedbatelných 8 mV.



Obr. 2-10 Ochrana proti přepólování

2.3. Hlavní jednotka

Hlavní jednotka (obr. 2.11) tvoří hlavní část celého systému. Její úlohou je sběr dat ze všech měřících snímačů, jejich vyhodnocení a zobrazení na LCD displeji a přenos na webový server.



Obr. 2-11 Blokové schéma hlavní jednotky

2.3.1. Mikrokontrolér ATmega128A

Mikrokontrolér pro hlavní jednotku bude vybírán rovněž z řady 8-bitových AVR ATmega od výrobce Microchip Technology Inc. Zde jsou kladeny vyšší požadavky z hlediska použitých periférií. Hlavní požadavky jsou:

- SPI rozhraní pro komunikaci s RFM modulem
- UART rozhraní pro komunikaci s modulem XPort
- I2C rozhraní pro komunikaci s RTC obvodem a pamětí EEPROM
- Alespoň dva vstupy reagující na úroveň externího přerušení od RTC a RFM
- 14 výstupních vývodů pro připojení LCD
- 8 vstupních vývodů pro připojení tlačítek
- 3 výstupy pro diagnostické LED
- Alespoň 8 volných rezervních vývodů

Na základě těchto požadavků byl zvolen mikrokontrolér ATmega128A. Kromě výše popsaných požadavků dále disponuje dostatečným paměťovým prostorem FLASH (128 MB) pro program a znakovou sadu LCD, 4 kB RAM a 4 kB vnitřní EEPROM paměti a celkem 53 programovatelných vstupně-výstupních vývodů.

2.3.2. Modul Xport

Možností, jak připojit zařízení do sítě LAN je využitím hotového modulu od firmy Lantronix [12]. Tato firma nabízí hotové převodníky z Ethernetového rozhraní na UART, ale i základní moduly pro komunikaci po síti LAN. Jedním z modulů, které tato firma nabízí, je malý webový server pod označením XPort (obr. 3.7).



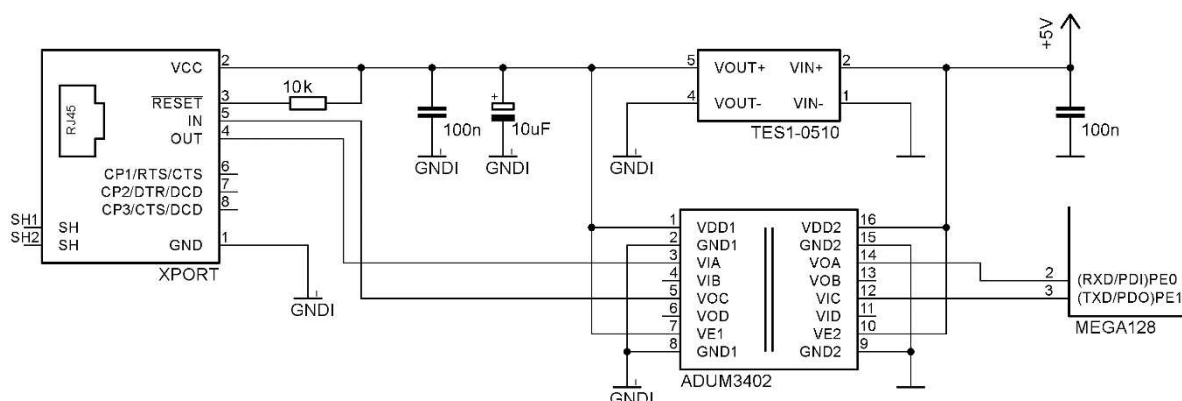
Modul XPort [8]

K tomuto modulu lze připojit libovolné zařízení prostřednictvím rozhraní UART a přenášet data z webové stránky, ke které bude přistupovat uživatel. Nevýhodou je pořizovací cena

přesahující částku 1 000,- Kč, čímž se podstatně zvyšuje cena hotového zařízení, nicméně ta je kompenzována rychlým a snadným použitím.

Vlastnosti modulu XPort:

- Webový server
- Snadná konfigurace prostřednictvím HTML rozhraní
- Podpora velkého množství protokolů (např. TCP/IP, UDP/IP, HTTP, Telnet a spoustu dalších)
- Převodník UART na Ethernet
- Podpora odesílání e-mailů
- Napájení 3,3 V
- Modulární provedení v podobě konektoru RJ-45
- Možnost zabezpečení heslem
- 3 programovatelné vstupně-výstupní vývody



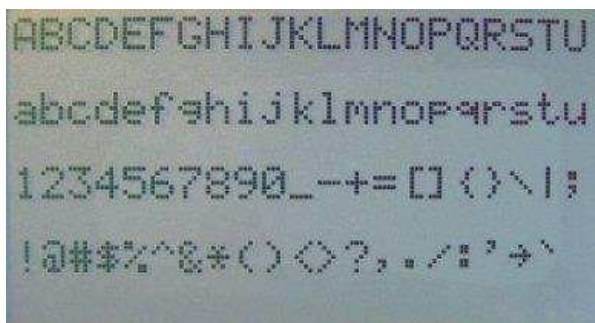
Obr. 2-12 Připojení modulu XPort k mikrokontroléru

Připojení modulu XPort k mikrokontroléru je zcela jednoduché, postačí propojit příslušné datové piny RxD a TxD sériové linky UART (obr. 2-12). Přestože by mohlo být použito přímého propojení, bylo nakonec zvoleno galvanické oddělení pomocí obvodu ADUM3402 ve spolupráci s DC/DC měničem TES1-0510. Hlavním důvodem použití těchto obvodů je skutečnost, že připojení modulu XPort k síti LAN je zprostředkováno LAN adaptérem Powerline z elektrické sítě 230 V, čímž by při případné poruše mohlo dojít k nechtěnému zničení celé hlavní jednotky, další výhodou je snadné vzájemné přizpůsobení logických úrovní 5 V ze strany mikrokontroléru na 3,3 V pro stranu XPort. Obvod ADUM3402 je čtyřkanálový izolátor s transformátorovou vazbou, dvěma vstupními a dvěma výstupními kanály a blokovacím vstupem V_E , který je však trvale připojen k napájení (akt. v log. 1). Maximální možná přenosová rychlost je 90 Mb/s, napěťová odolnost 2,5 kV/min. Přestože je oddělení zprostředkováno transformátorovou vazbou, další výhodou tohoto obvodu je

schopnost přenášet i stejnosměrnou složku. Tento obvod je dostupný v pouzdu SOIC 16. Napájení modulu zajišťuje izolovaný DC/DC měnič TES1-0510 v SMD provedení, který převádí vstupní napětí 5 V na výstupní napětí 3,3 V a je schopný dodat výstupní proud 300 mA. Jeho napěťová odolnost je 1,5 kV trvale. Krom modulu XPort rovněž napájí oddělenou stranu obvodu ADUM3402.

2.3.3. LCD Displej

Pro přehledné zobrazení naměřených hodnot ze všech snímačů byl zvolen monochromatický grafický LCD displej s rozlišením 128x64 pixelů pracující v textovém režimu, konkrétně se jedná o typ RG12864A-FHG-V. Tomuto displeji byla dána přednost před běžnými alfanumerickými displeji z důvodu zobrazení většího množství informací, v tomto případě umožňuje přehledně zobrazit informace ze všech šesti snímačů najednou. Tento displej obsahuje řadič NT7108, což je alternativa běžně používaného řadiče KS0108. Nevýhodou je absence vlastní znakové sady, k zobrazování běžných znaků může být použita například upravená knihovna pocházející od [5] (obr. 2-13).

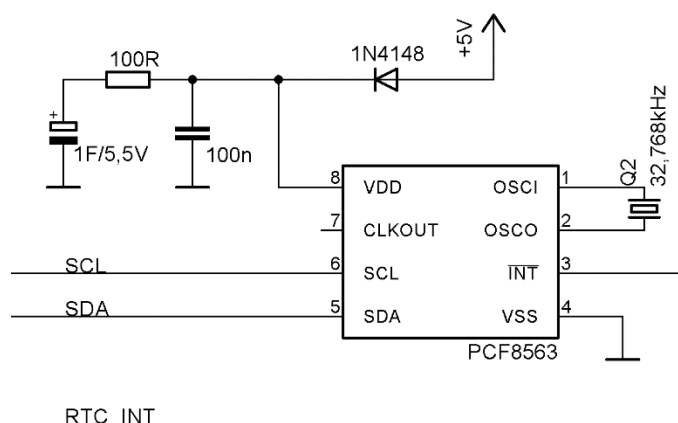


Obr. 2-13 Možné zobrazení znaků na LCD [5]

K ovládání je zapotřebí celkem 14 vývodů, osmi datových (DB0-DB7), čtyř řídících (E, RS, CS1, CS2), pro případné čtení obsahu LCD nebo příznaku Busy vývod R/W a vývod RST, který ovšem není nutný, může proto být trvale připojen přímo na +5 V. Celý displej je rozdělen na dvě poloviny s rozlišením 64x64 pixelů, přičemž každá polovina má vlastní řadič. Pomocí vývodů CS1 a CS2 (akt. v log. 1) lze ovládat buď levý, pravý, nebo oba řadiče. Zápis na datovou sběrnici DB0-DB7 je prováděn sestupnou hranou přiváděnou na vývod E. Napájecí napětí LCD displeje je 5 V, tudíž je i řídící logika pětivoltová. Kontrast zobrazení je nastaven jezdcem odporového trimru o hodnotě 10 k Ω , jeho krajní vývody jsou připojeny k napájecímu napětí a k zápornému napětí generovaném samotným displejem na jeho vývodu 19. LCD displej rovněž disponuje podsvícením, které zlepšuje čitelnost za horších světelných podmínek.

2.3.4. RTC obvod PCF8563

Jedná se o obvod reálného času (RTC), který obsahuje hodiny a kalendář v BCD kódu, optimalizovaný pro aplikace s nízkou spotřebou. Tento obvod obsahuje hodinový výstup s programovatelnou děličkou (CLKOUT, standardně 32 768 Hz, programovatelně 1024 Hz, 32 Hz a 1 Hz), alarmový výstup pro vyvolání přerušení (INT) a detektor nízkého napájecího napětí. Napájecí napětí se pohybuje mezi 1,8 – 5,5 V, spotřebu výrobce udává 0,25 uA při napětí 3 V. S okolím obvod komunikuje pomocí I2C sběrnice s maximální rychlostí přenosu 400 kb/s. Adresa pro zápis je 0xA2, pro čtení pak 0xA3.

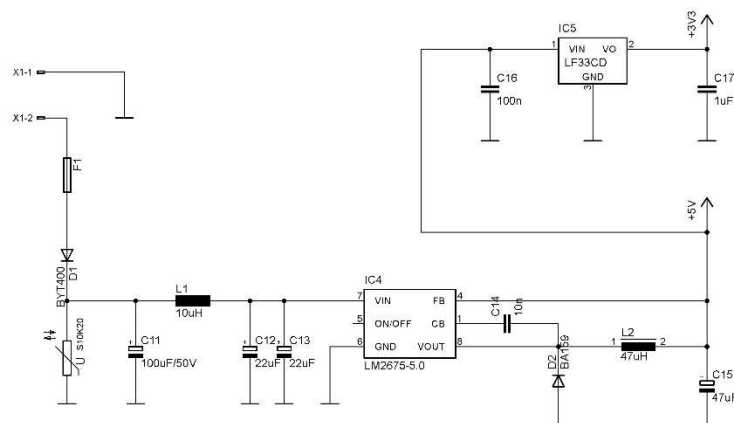


Obr. 2-14 Zapojení obvodu PCF8563

Obvod je k mikrokontroléru připojen přímo, ke sběrnici je nutné pouze připojit Pull-up rezistory. Obvod je pro případ výpadku napájecího napětí zálohován superkapacitorem o hodnotě $C = 1\text{ F}$, výrobce udává při nabití na $U = 5\text{ V}$ pokles napětí $< 1\text{ V}/24\text{ h}$ při teplotě $+25\text{ °C}$ vlivem samovybíjení.

2.3.5. Zdroj napájení

Na hlavní jednotku může být přivedeno napájecí napětí v rozsahu $+7\text{ V} - +30\text{ V DC}$ z externího síťového adaptéru (vstupy X1-1 a X1-2). Dioda BYT400 slouží jako ochrana proti přepólování, transil S10K20 spolu s rychlou pojistkou F 1A chrání obvod před přivedením napětí vyššího než 30 V a před případnými napěťovými špičkami. Tyto ochrany jsou nezbytné k zamezení zbytečného poškození obvodů. Tlumivka L1 a kondenzátory C12 a C13 tvoří odrušovací filtr. Z důvodu snížení vnitřního odporu jsou zapojeny paralelně.



Obr. 2-15 Schéma zapojení napájecího zdroje

Základem napájecího zdroje je spínaný stabilizátor LM2675 (obr. 2-15). Tento stabilizátor je vyráběn v nastavitelné nebo nenastavitelné variantě. V tomto případě je výstupní napětí pevně nastaveno na 5 V pro napájení většiny obvodů. Spínací kmitočet stabilizátoru je 260 kHz. Kondenzátor C11 slouží k filtraci zvlnění napájecího napětí. Vývod ON/OFF umožňuje zablokování stabilizátoru (připojení k 0 V) a v tomto případě je ponechán nezapojen. Zapojení doplňuje vazební kondenzátor C14 a rekuperační Schottky dioda D2. Ta je důležitá kvůli rychlosti a proudu, který jí může protékat. Tlumivka L2 a kondenzátor C15 slouží jako výstupní filtr, jejich hodnoty jsou zvoleny pro maximální očekávaný výstupní proud 300 mA.

Stabilizátor LF33D zajišťuje napájecí napětí 3,3 V pro napájení RFM modulu. Je volen jako typ s nízkým úbytkem napětí (typicky 0,45 V) pro přímé připojení na +5 V kvůli snížení tepelných ztrát. Výstupní proud 500 mA je více než dostačující.

2.4. Protokol bezdrátového přenosu

U bateriově napájeného zařízení je kladen důraz na efektivní využívání energie, z tohoto důvodu je zapotřebí specificky poohlížet na návrh komunikačního protokolu. Každý senzor bude vysílat:

- Unikátní adresu snímače
- Zjištěnou teplotu
- Napětí své baterie

V tomto případě se projevují výhody použití modulu RFM, který v sobě obsahuje funkci „Packet handler“, díky kterému je možný přenos paketů s proměnnou délkou včetně synchronizační části „Preamble“ a kontrolního CRC součtu, bez jakéhokoliv zásahu mikrokontroléru. Celý systém je navržen tak, že každý snímač se s určitou periodou probudí z režimu spánku, naměří potřebná data, která dále pomocí RFM modulu odešle hlavní jednotce. Po odeslání dat se snímač přepne do režimu příjmu, kde čeká 1 sekundu na odpověď od hlavní jednotky. Pokud odpověď nedorazí, opakuje vysílání paketu a znovu

čeká na odpověď. Pokud odpověď ani v tomto případě nepřijde, přepne se snímač do režimu spánku. Pro úsporu energie je maximální počet opakování v případě neúspěchu 3x. Jsou-li data bez chyby, přijatá odpověď obsahuje požadavek na uspání snímače a periodu dalšího probuzení. Délka odesílaných dat je pevná a má velikost 12 Bytů. Každý snímač má pevně přidělenou svoji unikátní adresu. Adresa je označena identifikátorem „A“ a reprezentována čísly 1-6. Informace o naměřené teplotě je složena z identifikátoru „T“, znaménka a číselné hodnoty, která je rozložena na jednotlivé číslice. Hodnota napětí baterie je opatřena identifikátorem „U“ a stejně jako teplota rozložena na jednotlivé číslice (tab. 2.5).

Tabulka 2.5 Struktura datového paketu snímače

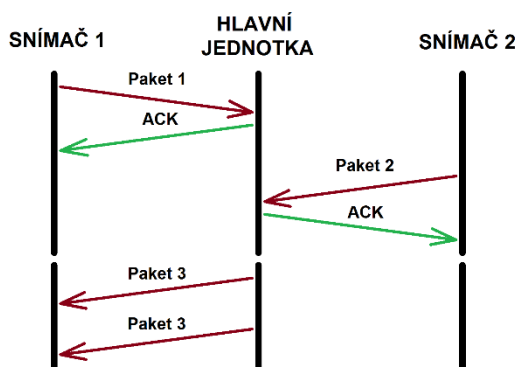
Byte	Data	Poznámka
1.	A	Identifikátor adresy
2.	Adresa	Adresa snímače
3.	T	Identifikátor teploty
4.	Teplota	Znaménko
5.		Stovky
6.		Desítky
7.		Jednotky
8.		Desetiny
9.	U	Identifikátor napětí
10.	Napětí	Jednotky V
11.		Desetiny V
12.		Setiny V

Pro odpověď od hlavní jednotky je uvažována délka paketu 10 Bytů, v tomto případě paket začíná identifikátorem adresy „A“ včetně její číselné hodnoty, identifikátorem „D“ následovaný 2-Bytovým příznakem, zda jsou data přijata v pořádku nebo ne, identifikátorem „P“ a hodnotou periody uspání v minutách (tab. 2.6).

Tabulka 2.6 Struktura potvrzovacího ACK paketu od hlavní jednotky

Byte	Data	Poznámka
1.	A	Identifikátor adresy
2.	Adresa	Adresa snímače
3.	D	Identifikátor příkazu
4.	O / E	OK = data v pořádku ER = chyba přenosu
5.	K / R	
6.	P	Identifikátor periody
7.	Perioda spánku	Tisíce sekund
8.		Stovky sekund
9.		Desítky sekund
10.		Jednotky sekund

Vzhledem k tomu, že se jedná o komunikaci typu Master – Slave, tzn, že přenos informací je iniciován od vysílače, nemusí být vysílač celou dobu na příjmu. To umožňuje úsporu energie celého snímače. Naproti tomu na straně hlavní jednotky musí být přijímač po celou dobu neustále na příjmu. Schéma přenosu je na obrázku 2-16. Pro jednoduchost je znázorněn přenos od dvou vysílačů, avšak princip je stejný pro všechny vysílače.



Obr. 2-16 Znázornění přenosu mezi snímačem a hlavní jednotkou

Přenos prvního paketu pochází od snímače č. 1. Následuje potvrzení ACK od hlavní jednotky a uspání snímače. Další snímač vysílá svůj paket. Posunutí okamžiku vysílání každého snímače je potřeba vhodně sesynchronizovat na základě jejich vypočítané periody spánku.

3. Realizace prototypu

3.1. Programové vybavení

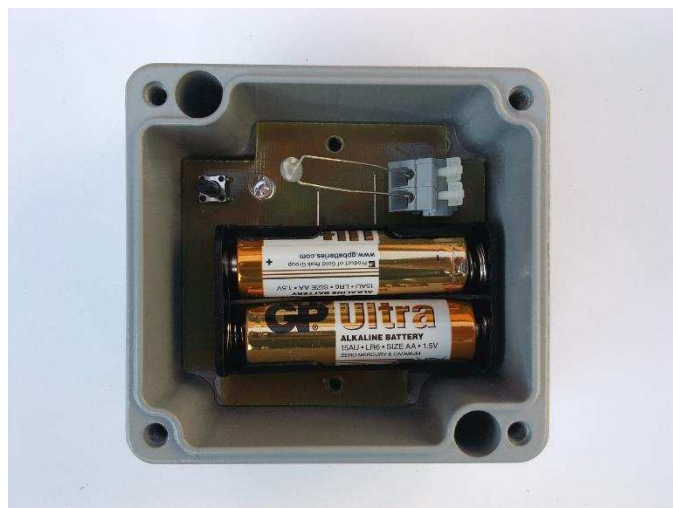
Pro vývoj programového vybavení bude použito vývojové prostředí AVR studio 4.18 od firmy Atmel. Veškeré kódy pro mikrokontroléry budou psány v programovacím jazyce C. AVR studio obsahuje možnost ladění (debugger), který umožňuje ovládání vnitřních registrů, vstupně-výstupních portů a vestavěných periférií. K naprogramování poslouží programátor BiProg, samotné programování proběhne prostřednictvím ISP konektoru na desce.

3.2. Návrh DPS

Desky plošných spojů jsou navrženy v návrhovém prostředí EAGLE 5.11 firmy Cadsoft. Program disponuje intuitivním ovládáním s velkým množstvím knihoven. Pro součásti, které neobsahuje standardní knihovna, je vytvořena vlastní knihovna. Jedná se zejména o RFM modul a většinu integrovaných obvodů.

3.2.1. Konstrukce snímače

Plošný spoj snímače je zhotoven na jednostranné desce o rozměrech 70x66 mm. Při návrhu této desky nebylo možné zcela se vyhnout drátovým propojkám. Protože jde o kombinaci analogového a digitálního obvodu, je zemnicí plocha realizována vylitím mědi a s napájením propojena v jednom bodě pod mikrokontrolérem. Návrh je proveden převážně v SMT montáži. Výsledná deska je navržena pro montáž do hliníkové krabičky Bopla A105 (obr. 3-1). K té bude pomocí přivařeného kusu plechu připevněna dutá nerezová kulatina o délce 150 cm zakončená hrotem. V ní bude jako měřicí senzor zasunut NTC termistor. NTC je k desce přiveden silikonovým kablíkem a připojen pomocí rozpojovací WAGO svorkovnice, která umožňuje případné snadné rozpojení.



Obr. 3-1 Realizace prototypu snímače

3.2.2. Konstrukce hlavní jednotky

Plošný spoj hlavní jednotky (obr. 3-2) je realizován jako oboustranný o rozměrech 148x108 mm pro zástavbu do průmyslové plastové krabičky GW44 427 s průhledným víkem. Vzhledem k použité technologii výroby jsou prokovy realizovány jako drátové propojky. Převážná většina součástí je použita rovněž ve variantě SMT. LCD je k desce připevněn pomocí čtyř vertikálních kovových sloupků a připojen kolíkovou lištou. V levém spodním rohu je vyfrézován prostor pro snadné připojení LAN konektoru.



Obr. 3-2 Realizace prototypu hlavní jednotky

ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout a sestavit senzorovou síť pro monitorování teploty uskladněných hospodářských komodit. Hlavním účelem, jak plyne z povahy těchto látek, je včasné upozornění před možným nebezpečím samovznícení. Bylo nutné provést rozbor procesu samovznícení a seznámit se s povahou uskladňovaných látek a možnými požárními riziky. Dále byla zaměřena pozornost na dostupnost prostředků nabízených na trhu. Z toho vyplynulo, že podobný systém zatím trh nenabízí.

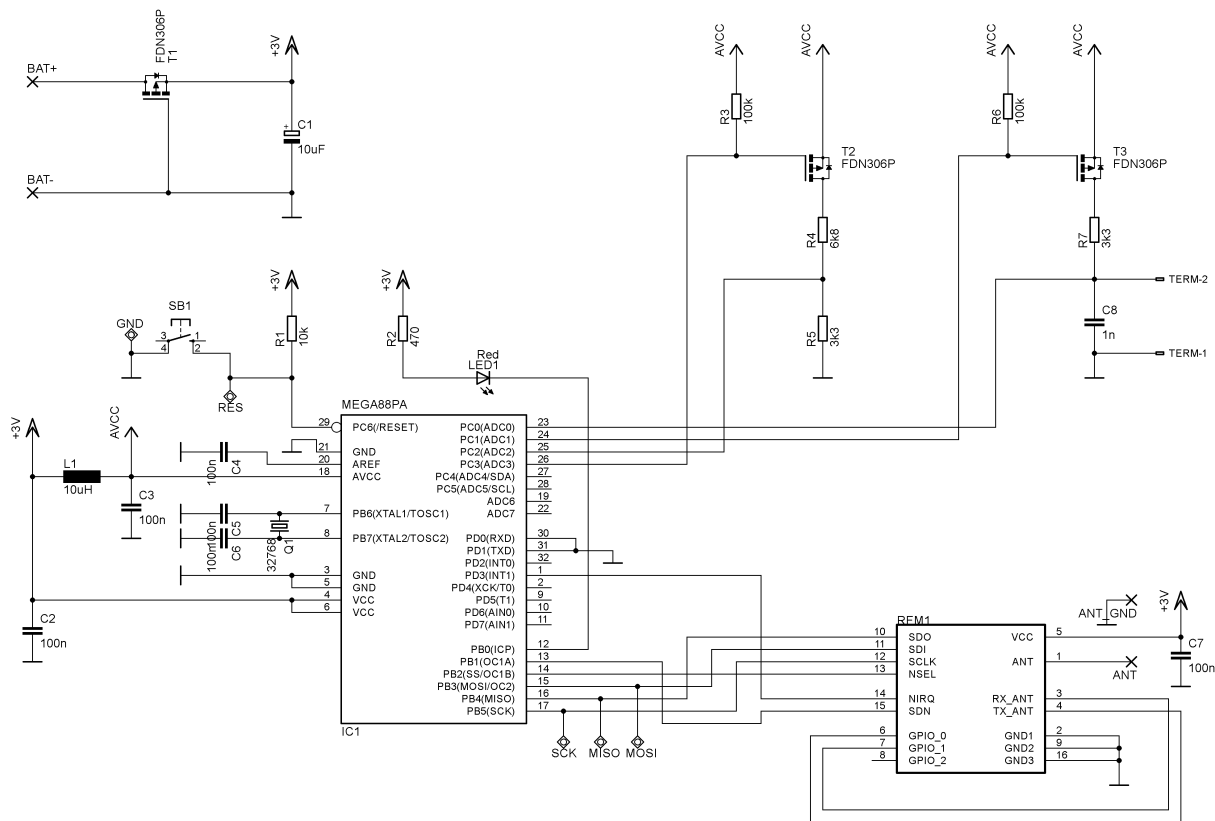
Na základě těchto poznatků byl proveden návrh systému. Ten je tvořen hlavní jednotkou a několika bezdrátově komunikujícími snímači založených na 8-bitových mikrokontrolérech. Součástí návrhu by měl být i jednoduchý webový terminál pro vzdálený dohled. Hlavním požadavkem snímačů byla co nejmenší spotřeba. Dále byl vysvětlen princip komunikace mezi snímači a hlavní jednotkou.

V této fázi se zatím podařilo navrhnout a sestavit hardware v podobě desek plošných spojů a zatím jeden snímač. Stěžejním úkolem je vytvoření firmware mikrokontrolérů, který se zatím nepodařilo dokončit. V současné době jsou zatím odzkoušeny a provozuschopné jen některé části hardwaru.

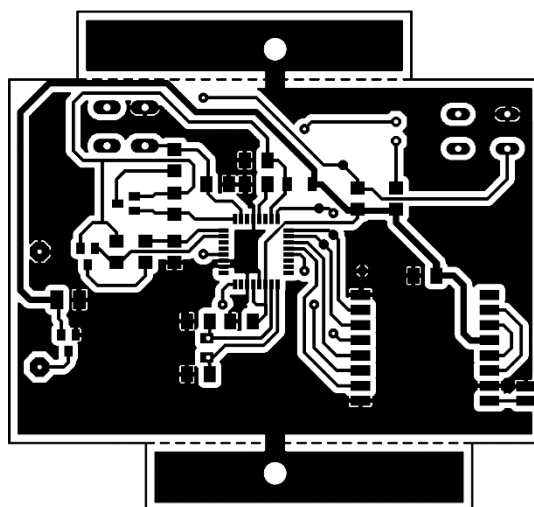
LITERATURA

- [1] POŽÁRNÍ ŘÁD. Guard7.cz [online]. Dostupné z: http://www.guard7.cz/files/dokumentace/vzor_dokumentace_PO/pozarni_rady/stodola.pdf
- [2] Farmex HT-PRO. Epristroje.cz [online]. Dostupné z: https://www.epristroje.cz/zemedelske_vlhkomery-farmex_farmex_htpro_tplomervlhkomer_pro_seno_senaz_a_slamu_meric_vlhkosti_baliku-152396365-891642368-zemedelske-teplomery/
- [3] TME Radio: Bezdrátový měřič teploty a vlhkosti. Papouch.cz [online]. Dostupné z: <https://www.papouch.com/cz/shop/product/tme-radio-bezdratovy-meric-teploty-a-vlhkosti/>
- [4] ČTÚ: Využívání vymezených rádiových kmitočtů. Český telekomunikační úřad [online]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/ctuinformuje/jak-postupovat-radiove-kmitocty/vyuzivani-vymezeny-radiovychkmitoctu.html>
- [5] Universal C library for KS0108 based LCD displays - AVR AT91 LPC2100 STM32. en.radzio.dxp.pl - electronics and programming [online]. Dostupné z: <http://en.radzio.dxp.pl/ks0108/>
- [6] Atmega88A datasheet. Tme.cz [online]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/6c43f7fc576822a966339576b42b0c2e/ATmegaxx8A-328P-DTE.pdf>
- [7] Atmega128A datasheet. Tme.cz [online]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/6f0ea989a96767812246128a8a5a2262/ATmega128-DTE.pdf>
- [8] XPort. Lantronix.com [online]. Dostupné z: http://www.lantronix.com/wp-content/uploads/pdf/XPort_DS.pdf
- [9] RFM22 Datasheet. Sparkfun.com [online]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/General/RFM22.PDF>
- [10] PCF8563 Datasheet. Nxp.com [online]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8563.pdf>
- [11] Analog, Embedded Processing, Semiconductor Company, Texas Instruments - TI.com [online]. Copyright ©S. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2675.pdf>

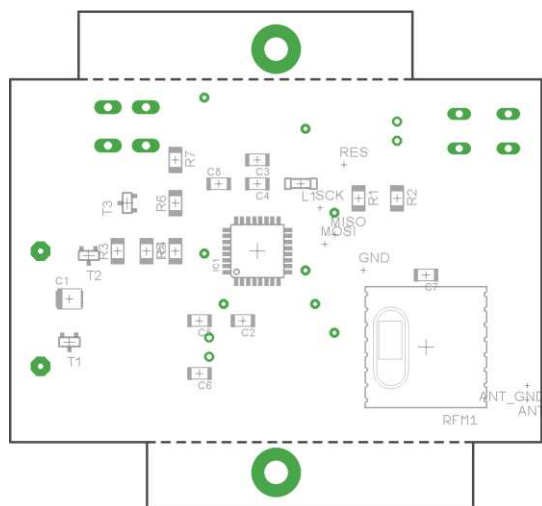
PŘÍLOHY



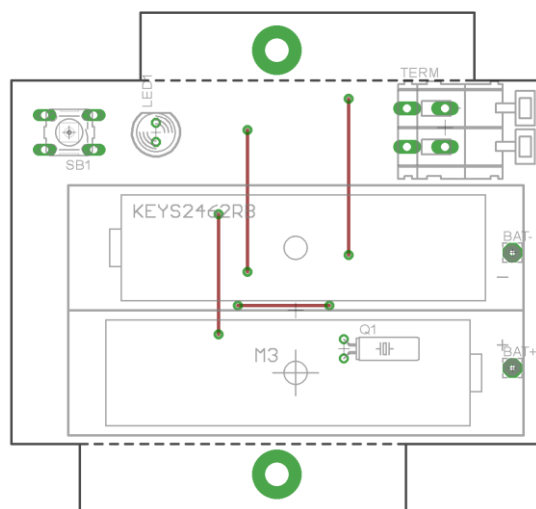
A.1 Schéma zapojení snímače



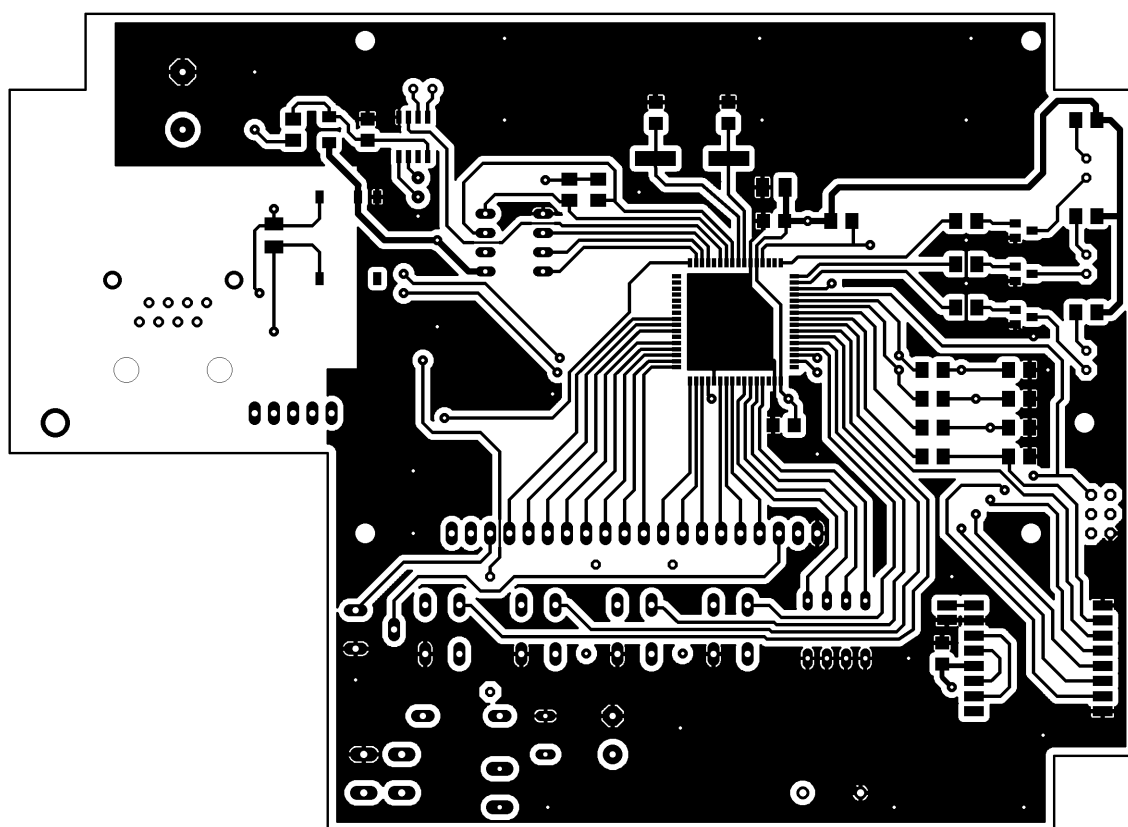
A.3 Plošný spoj snímače



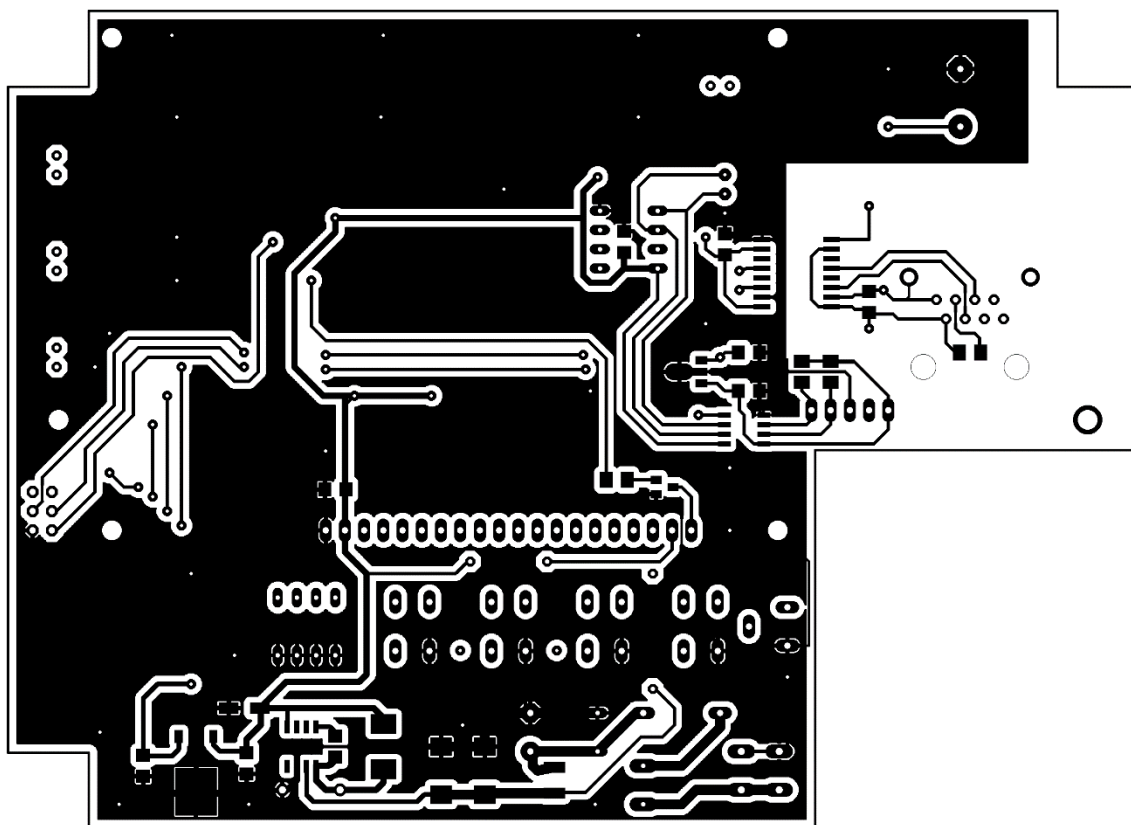
A.4 Osazovací výkres snímače (bottom)



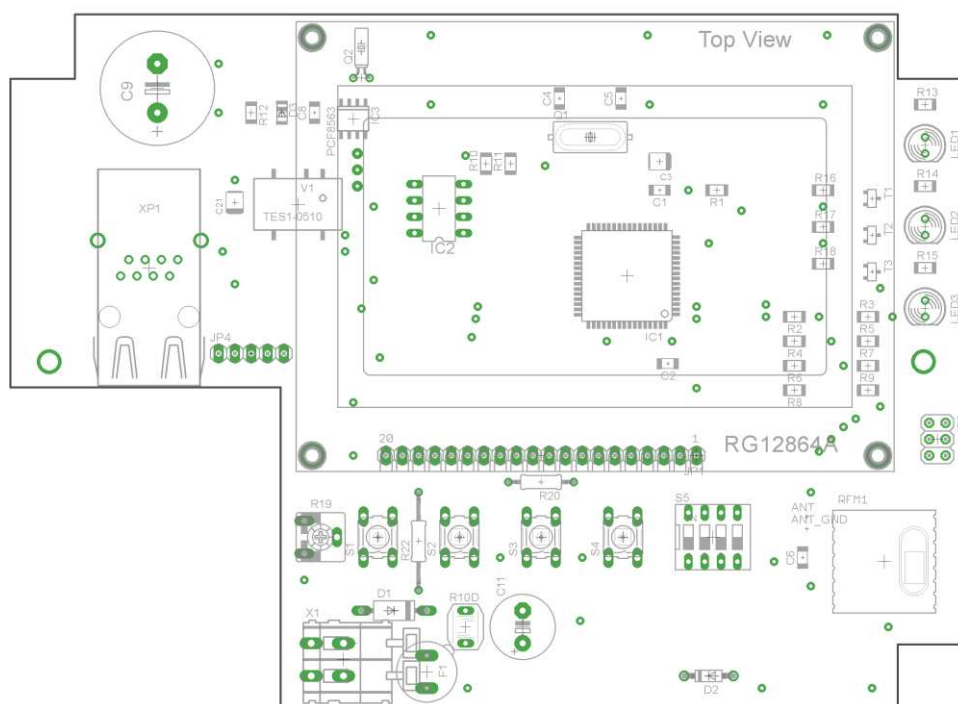
A.5 Osazovací výkres snímače (top)



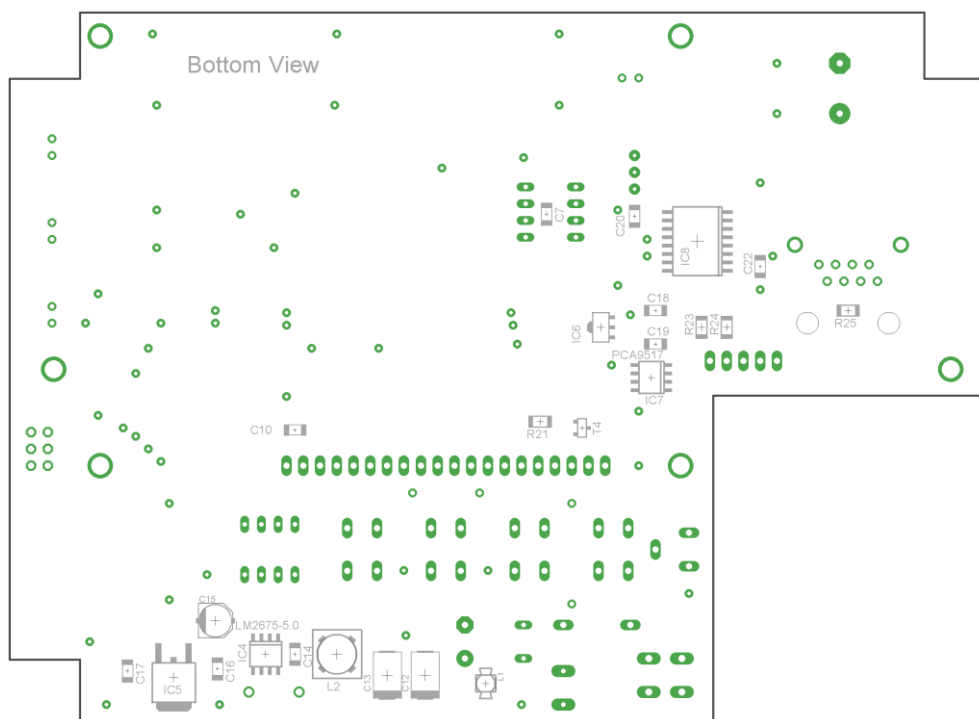
A.6 Plošný spoj hlavní části (top)



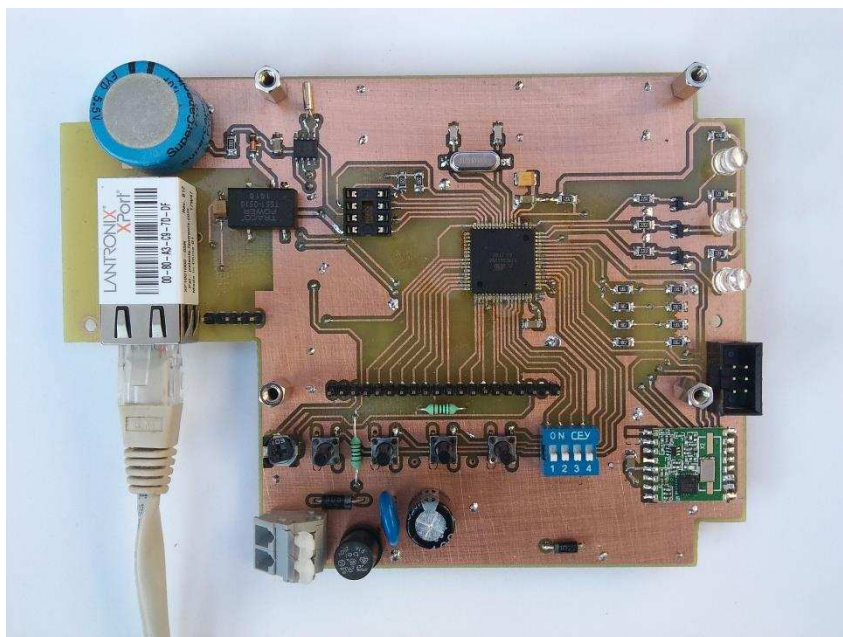
A.7 plošný spoj hlavní části (bottom)



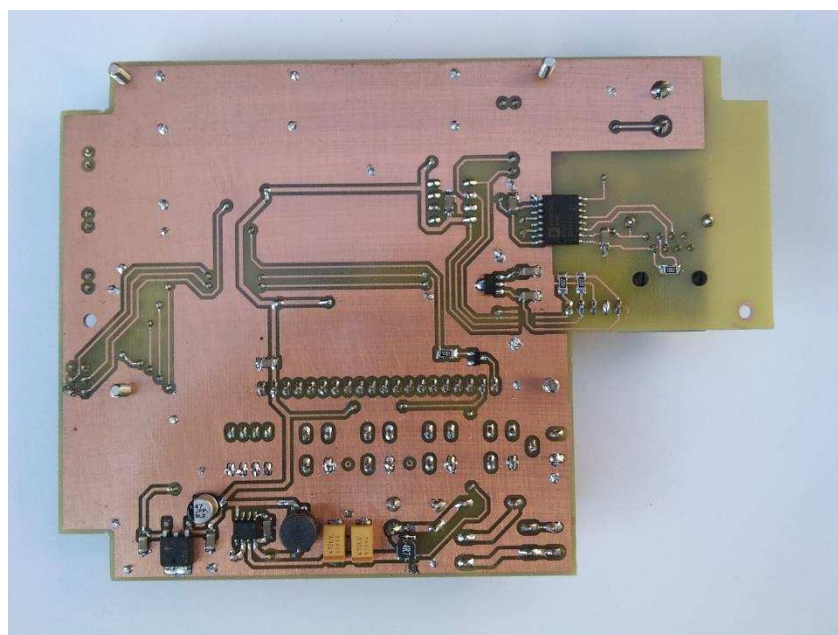
A.8 osazovací výkres hlavní jednotky (top)



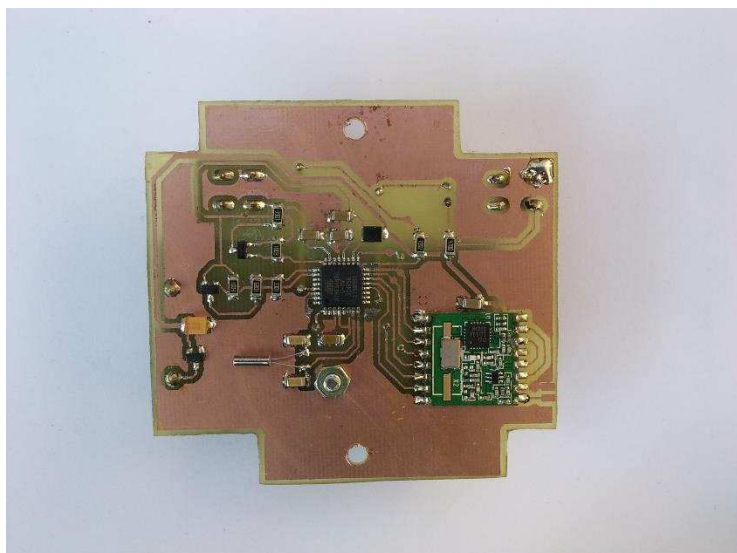
A.9 osazovací výkres hlavní jednotky (bottom)



Fotografie hlavní jednotky (top)



Fotografie hlavní jednotky (bottom)



Fotografie snímače (bottom)